

Is Solar Cell Unstable System?

Lyapunov Stability and Current Concentration

Ikuo Nanno

National Institute of Technology, Ube College, 2-14-1 Tokiwadai,
Ube City, Yamaguchi Pref. 755-8555, Japan

Abstract:

Space solar cells are said to have the potential to cause current concentration (thermal runaway) at the local shunt spots due to photoexcitation or external bias, and carrier injection into the solar cells. Since this phenomenon leads to a significant decrease in electrical performance, proper design of solar cells is required. A method to analyze thermal runaway characteristics quantitatively was proposed and this phenomenon was confirmed experimentally. However, simulation and qualitative understanding are not enough, and it is possible to design more reliable solar cells if the qualitative understanding is deepened. Therefore, in order to deepen qualitative understanding, we first define stability and instability from Lyapunov stability. From the modeling of the current concentration phenomenon of space solar cells based on the definition, we considered whether the solar cells were stable or unstable.

太陽電池は不安定系か？

(リアプノフ安定と電流集中)

南野 郁夫* (宇部工業高等専門学校)

Is Solar Cell Unstable System?

(Lyapunov Stability and Current Concentration)

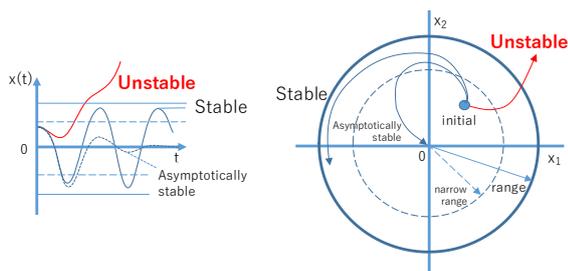
Ikuo Nanno (National Institute of Technology, Ube College)

1. まえがき

宇宙用太陽電池は光励起または外部バイアスにより、太陽電池へのキャリア注入はローカルシャントスポットで電流集中（熱暴走）を引き起こす可能性があるとされている。この現象は電氣的性能の大幅な低下につながるため、太陽電池の適切な設計が必要である。熱暴走特性を定量的に解析する方法が提案され実験的にこの現象は確かめられた⁽¹⁾。しかしシミュレーションおよび定性的な理解は不十分であり、定性的理解が深まればより安心できる太陽電池の設計が可能である。そこで定性的な理解を深めるため、今回まず安定・不安定をリアプノフ安定から定義した。その定義に基づき宇宙用太陽電池の電流集中現象のモデリングから太陽電池は安定か不安定かを考察した。

2. リアプノフ安定とは？

図1のリアプノフ安定の定義から制御理論の安定と不安定の境界は、ある設定範囲に収まるかどうかである。安定かつ最終的に0に収束する場合を漸近安定と呼ぶ⁽²⁾。



(a) 横軸時間のグラフ

(b) 2次元の概念図

図1 リアプノフ安定

Fig.1 Lyapunov stability

3. 磁気軸受の負の剛性

磁気軸受は元々不安定系（負の剛性）の代表例である。図2に磁気軸受を応用した半導体ウェハを無発塵搬送する磁気浮上装置を示す⁽³⁾。電磁石の吸引力により浮上させているが、制御せず一定電流を流すと（センサから電磁石コイル電流までのゲインが0）、浮上体はどこかの電磁石に張り付く。この現象が負の剛性、正帰還であり不安定系である。



図2 磁気浮上搬送装置

Fig.2 Maglev Shuttle Vehicle

4. 太陽電池の連成モデル

太陽電池の第4象限の発熱と熱輻射の連成モデリングをMATLAB/Simulinkを用いて作成したモデルが図3である。連成モデルを構築することにより、太陽電池はある条件で正帰還となり不安定になることとその条件を示した。

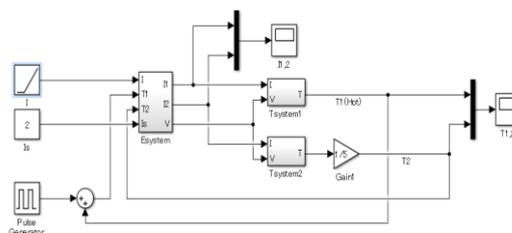


図3 太陽電池の連成モデル

Fig.3 Coupled model of solar cell

5. まとめ

ある条件で不安定系である。その条件とは小さい熱伝導、大きな光電流、セルの開放の例などである。宇宙用電源は、太陽電池の不安定条件を配慮した設計が重要である。

謝辞

本研究は JAXA との共同研究成果であり、一部は JPS 科研費 15K13935, 17K06331 の助成を受けたものでもある。

文献

- (1) Tetsuya Nakamura, Taishi Sumita, and Mitsuru Imaizumi, "Quantitative evaluation of thermal runaway tolerance in space solar cells", Japanese Journal of Applied Physics 57, 08RD03, pp08RD03-1-6 (2018)
- (2) 小郷 寛, 美多 勉:「システム制御理論入門」, 実教出版
- (3) M. Ota, J.Ohshima, I.Nanno: "A Dust-free Maglev Shuttle Vehicle", Proceedings of the Third Symposium on Automated Integrated Circuits Manufacturing Electronics and Dielectrics and Insulation Divisions of Electrochemical Society, Vol.88-13, p462-468(1988)